

①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑪ **DE 3534268 A1**

⑤① Int. Cl. 4:  
**F15D 1/12**  
B 64 C 21/10

②① Aktenzeichen: P 35 34 268.4  
②② Anmeldetag: 26. 9. 85  
④③ Offenlegungstag: 2. 4. 87

DE 3534268 A1

⑦① Anmelder:  
Deutsche Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft-  
und Raumfahrt e.V., 5300 Bonn, DE

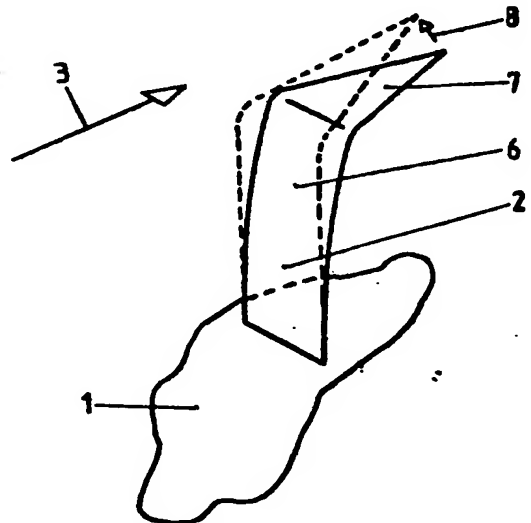
⑦④ Vertreter:  
Bibrach, R., Dipl.-Ing.; Rehberg, E., Dipl.-Ing.,  
PAT.-ANW.; Bibrach-Brandis, M., RECHTSANW.,  
3400 Göttingen

⑦② Erfinder:  
Bechert, Dietrich, Dr.-Ing., 1000 Berlin, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Zur Vermeidung von Strömungsablösungen ausgebildete Oberfläche eines umströmten Körpers

Zur Vermeidung von Strömungsablösungen ist eine Oberfläche 1 eines umströmten Körpers mit einer Vielzahl von Elementen 2 ausgestattet, die aus der Ebene der Oberfläche 1 heraus in die Strömung einragend vorgesehen sind und eine solche Gestalt aufweisen, daß unter Durchmischung in einer Grenzschicht der randnahen Grenzschicht Energie zugeführt wird. Die Elemente 2 sind einerseits relativ zur Ebene der Oberfläche 1 verstellbar angeordnet und weisen andererseits eine solche Gestalt auf, daß sie bei drohender Strömungsablösung die Durchmischung bewirken, bei anliegender Strömung jedoch unter Widerstandsverminderung die Ebene der Oberfläche 1 nachbilden.



DE 3534268 A1

## Patentansprüche

1. Zur Vermeidung von Strömungsablösungen ausgebildete Oberfläche eines umströmten Körpers mit einer Vielzahl von Elementen (2), die aus der Ebene der Oberfläche (1) heraus in die Strömung einragend vorgesehen sind, und eine solche Gestalt aufweisen, daß unter Durchmischung in einer Grenzschicht der wandnahen Grenzschicht Energie zugeführt wird, dadurch gekennzeichnet, daß die Elemente (2) einerseits relativ zur Ebene der Oberfläche (1) verstellbar angeordnet sind und andererseits eine solche Gestalt aufweisen, daß sie bei drohender Strömungsablösung die Durchmischung bewirken, bei anliegender Strömung jedoch unter Widerstandsverminderung die Ebene der Oberfläche nachbilden.
2. Oberfläche nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Elemente (2) federnd nachgiebig ausgebildet und/oder gelenkig zur Oberfläche (1) gelagert sind.
3. Oberfläche nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Elemente (2) durch die Strömungskräfte selbst und/oder durch Fremdkraft verstellbar angeordnet sind.
4. Oberfläche nach Anspruch 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Elemente (2) L-förmigen Querschnitt aufweisen und mit dem einen, der Oberfläche (1) zugekehrten Schenkel (6) etwa senkrecht zur Oberfläche (1) angeordnet sind, und daß sich der andere Schenkel (7) etwa parallel zur Oberfläche (1) in Strömungsrichtung (3) erstreckt.
5. Oberfläche nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß der sich etwa senkrecht zur Oberfläche (1) erstreckende Schenkel (6) der Elemente (2) eine quer zur Strömungsrichtung (3) sich erstreckende Flächenausbildung aufweist, die einer entgegengesetzt zur Strömungsrichtung gerichteten Sekundärströmung Widerstand bietet.
6. Oberfläche nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß der sich etwa in Strömungsrichtung (3) erstreckende Schenkel (7) der Elemente (2) in Strömungsrichtung spitz zulaufend ausgebildet ist.
7. Oberfläche nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß auf der der Strömung ausgesetzten Oberfläche (1) des anderen Schenkels (7) der Elemente (2) in Strömungsrichtung verlaufende, widerstandsvermindernde Längsrillen mit scharfen Graten vorgesehen sind.
8. Oberfläche nach Anspruch 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß in der Oberfläche (1) zwischen den Elementen (2) Schlitze (12) zum Ausbringen von widerstandsvermindernden Polymer-Additiven unter die Elemente (2) vorgesehen sind.

## Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf eine zur Vermeidung von Strömungsablösungen ausgebildete Oberfläche eines umströmten Körpers mit einer Vielzahl von Elementen, die aus der Ebene der Oberfläche heraus in die Strömung einragend vorgesehen sind und eine solche Gestalt aufweisen, daß unter Durchmischung in einer Grenzschicht der wandnahen Grenzschicht Energie zugeführt wird.

Die Strömung auf der Heckseite von umströmten Körpern neigt zur Ablösung von der Oberfläche. Das

führt zu stark erhöhtem Strömungswiderstand. Strömungsablösung tritt jedoch nicht nur am Heck von stumpfen Körpern, z. B. Autos, auf, sondern auch an Tragflügeln bei hohen Anstellwinkeln. Durch Vermeidung von Strömungsablösung kann also nicht nur Widerstand gespart werden, sondern auch der Auftrieb von Tragflügeln erhöht werden. Strömungsablösung tritt auf, wenn die Umströmung eines Körpers mit einem so starken Druckanstieg (= starker positiver Druckgradient) verbunden ist, daß die durch Reibung abgebremste Strömung in der Nähe des Körpers (Grenzschicht) nicht mehr genügend kinetische Energie aufweist, um den bei anliegender Strömung sich einstellenden Druck (potentielle Energie) an der Heckseite des Körpers aufzubauen.

Bei einer bekannten Oberfläche der eingangs beschriebenen Art sind aus der Ebene der Oberfläche heraus in die Strömung einragende Elemente fest vorgesehen, um die energiereiche äußere Strömung mit der abgebremsten Strömung in der Nähe der Oberfläche besser zu durchmischen und dadurch der wandnahen Grenzschicht Energie zuzuführen, so daß die Strömung länger anliegend bleibt bzw. gegen höhere positive Druckgradienten anströmen kann. Die auf der Oberfläche des umströmten Körpers angeordneten Elemente können verschiedene Gestalt aufweisen, die in jedem Fall aber darauf gerichtet ist, die Durchmischung in einer Grenzschicht zu erhöhen. Die Elemente können als Reihen von kleinen Flügeln auf der Oberseite der Tragflügel von Flugzeugen angeordnet sein, um Längswirbel in Strömungsrichtung zu erzeugen (Fig. 1). Eine andere Möglichkeit jedoch mit ähnlicher Wirkung, ist eine keilförmige Ausbildung der Elemente mit entsprechender Anordnung in Strömungsrichtung (Fig. 2). Die verstärkte Durchmischung wird in beiden Fällen durch Erzeugung von Längswirbeln erreicht. Diese fest angeordneten Elemente sind jedoch nur nützlich, solange sich die Strömung in der Nähe der Ablösung befindet. Bei einem Flugzeugtragflügel ist das z. B. während des Landeanfluges der Fall. Bei anderen Flugbedingungen, z. B. während des Reisefluges, sind die bekannten Elemente zur Erzeugung von Längswirbeln nicht nötig und erzeugen in nachteiliger Weise zusätzlichen Widerstand.

Es ist bekannt (D.W. Bechert, G. Hoppe und W.-E. Reif: "On the drag reduction of the shark skin", AIAA-Paper 85-0546 (1985)), daß die Elemente zur Erzeugung von Längswirbeln auch sehr klein ausgebildet sein können, wenn sie die Oberfläche dicht belegen. Bei einer turbulenten Grenzschicht, müssen sie nur etwas aus der viskosen Unterschicht herausragen. Die viskose Unterschicht ist eine sehr dünne, sehr wandnahe Schicht, in der die Zähigkeitskräfte der Strömung dominieren. Bei technischen Anwendungen ist diese Schicht normalerweise einen kleinen Bruchteil eines Millimeters dick. In dieser Schicht bilden sich schon auch ohne in die Strömung vorstehende Elemente sehr kleine Längswirbel aus, die die Durchmischung der gesamten Grenzschicht steuern (S.J. Kline, W.C. Reynolds, F.A. Schraub, P.W. Runstadler: "The structure of turbulent boundary layers", J. Fluid Mech. 30 (1967), Seiten 741—773).

Durch sehr feine Längsrillen (D.W. Bechert, G. Hoppe und W.-E. Reif: "On the drag reduction of the shark skin", AIAA-Paper 85-0546 (1985)) kann man die zur Ausbildung dieser Wirbel notwendige Querströmung behindern. Das führt zu einem geringeren Energieaustausch in der turbulenten Grenzschicht, was zur Verminderung der turbulenten Wandschubspannung (unter den Wert bei einer glatten Platte) benutzt werden kann.

Verwendbar erscheint dies zur direkten Widerstandsverminderung bei langen Körpern ohne Ablösegefahr, z. B. Flugzeugrumpfen.

Andererseits kann man durch Verstärkung der kleinen Längswirbel mit kleinen Elementen auch die Durchmischung stark anheben. Dies führt zwar zur Erhöhung der Wandschubspannung, aber auch zur Vermeidung von Strömungsablösung. Durch Anbringung z. B. im Heckbereich eines Flugzeugrumpfes oder im hinteren Teil eines Tragflügels können damit durch Ablösungs-  
 10 unterdrückung sowohl der Gesamtwiderstand vermindert als auch der Auftrieb erhöht werden. Auf einer Flugzeugoberfläche können auch verschiedene Elemente zum Einsatz kommen. Eine optimale Wirkung läßt sich jedoch nur für einen Strömungszustand entwickeln.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Oberfläche der eingangs beschriebenen Art derart weiterzubilden, daß sie sich bei sich ändernden Strömungszuständen anpaßt oder zumindest angepaßt werden kann.

Erfindungsgemäß wird dies dadurch erreicht, daß die Elemente einerseits relativ zur Ebene der Oberfläche verstellbar angeordnet sind und andererseits eine solche Gestalt aufweisen, daß sie bei drohender Strömungsablösung die Durchmischung bewirken, bei anliegender Strömung jedoch unter Widerstandsverminderung die Ebene der Oberfläche nachbilden. Dabei ist daran gedacht, daß die Elemente bei unterschiedlichen Strömungszuständen unterschiedliche Relativlagen zu der Oberfläche einnehmen oder einnehmen können, jedenfalls derart, daß mindestens in einer Stellung durch erhöhte Durchmischung die drohende Strömungsablösung vermieden wird und in einer anderen Stellung bei sicher anliegender Strömung eine Widerstandsverminderung eintritt. Die Verstellbarkeit einerseits und die Ausbildung der Gestalt der Elemente, also ihre Form und die Dimensionierung sowie Anordnung, wirken sich auf beide angestrebten Wirkungen aus. Dabei sollen mindestens zwei Strömungszustände im Sinne einer Optimierung berücksichtigt werden, nach Möglichkeit natürlich mehr als zwei Strömungszustände. So ist es insbesondere möglich, die Verstellung und Gestaltung der Elemente so auszubilden, daß hinsichtlich einer Vielzahl von Strömungszuständen eine mehr oder weniger kontinuierliche Abnahme der einen Wirkung und eine Zunahme der anderen Wirkung eintritt.

Die Elemente können federnd nachgiebig ausgebildet und/oder gelenkig zur Oberfläche gelagert sein. Die Elemente können durch die Strömungskräfte selbst und/oder durch Fremdkraft verstellbar angeordnet sein. Besonders vorteilhaft ist es natürlich, wenn die Elemente durch die Strömungskräfte selbst verstellt werden, so daß eine mehr oder weniger kontinuierliche Anpassung an die verschiedenen Strömungsbedingungen selbsttätig stattfindet und irgendwelche Fremdkraft-Verstell-  
 50 einrichtungen nicht erforderlich werden. Die Verstellung kann einerseits eine mehr globale Reaktion auf die Strömungsbedingungen durch langsam reagierende große Elemente sein. Besonders bei Umströmung des Körpers mit einer Flüssigkeit ergibt sich aber andererseits auch die Möglichkeit, daß die Elemente besonders klein ausgebildet sein können und auf die momentane Strömungsstruktur schnell reagieren können, wodurch die Grenzschicht in noch stärkerem Maße beeinflusst wird. Keilförmige Elemente, wie sie in fester Form  
 60 Stand der Technik sind (Fig. 2), lassen sich durch eine Fremdkraft-Verstellvorrichtung leicht in die Ebene der Oberfläche einziehen bzw. ausstellbar lagern, so daß sie dem jeweiligen Strömungszustand angepaßt werden

können. Für die Verstellung der Elemente durch die Strömung selbst ergeben sich verschiedene Möglichkeiten:

Die Elemente können rein federnd nachgiebig, also  
 5 entsprechend elastisch ausgebildet sein, so daß sie eine reproduzierbare Rückstellung aufweisen. Die Verstellung bzw. Verbiegung der Elemente wird zweckmäßig durch die Schubspannung der Strömung gesteuert. Dabei wird folgender Zusammenhang benutzt: bei sicher  
 10 anliegender Strömung ist die Wandschubspannung hoch und die Elemente werden durch diese Wandschubspannung aufgrund ihrer federnd-nachgiebigen Ausbildung oder auch Aufhängung in einer flachen, der Oberfläche angepaßten Stellung gehalten, bei der sie im Abstand zu der Oberfläche diese Oberfläche etwa parallel  
 15 nachbilden und die sich somit ergebende Oberfläche der Elemente weitgehend geschlossen bzw. glatt ausgebildet ist, so daß die angestrebte Widerstandsverminderung eintritt. Bei geringer Schubspannung hingegen, also bei drohender Strömungsablösung, richten sich die  
 20 Elemente durch ihr Rückstellvermögen oder durch Federkraft auf und erzeugen eine starke Durchmischung der Grenzschicht. Hierdurch wird die Strömung anliegend gehalten. Durch verminderte Strömungsgeschwindigkeit, z. B. beim Landeanflug eines Flugzeugs, sinkt  
 25 ebenfalls die Wandschubspannung. Dies ist aber in den meisten Fällen auch der Bereich, in dem die Strömung anliegend gehalten werden muß.

Andererseits aber ist es möglich, auf den Einsatz von  
 30 Federkräften zu verzichten und eine gelenkige Lagerung bzw. Anordnung der Elemente relativ zur Oberfläche zu verwirklichen. Die Verstellung der Elemente erfolgt in einem solchen Falle rein durch die Strömungsmechanik, also die von der Strömung auf die Elemente  
 35 einwirkenden Kräfte. Strömungen in der Nähe der Ablösung haben eine starke Druckzunahme in Strömungsrichtung. Diese Druckzunahme erzeugt im Hohlraum unter der Oberfläche eine Sekundärströmung, die entgegengesetzt zu der Strömungsrichtung der Hauptströmung  
 40 gerichtet ist. Diese Sekundärströmung kann dazu benutzt werden, die Elemente in sinnvoller Weise zu verstellen. Es ist auch möglich, beide aufgezeigten Möglichkeiten zu kombinieren und beispielsweise neben einer Gelenkaufhängung der Elemente zusätzlich eine  
 45 sehr weiche Federung einzusetzen.

In bevorzugter Ausführungsform weisen die Elemente L-förmigen Querschnitt auf und sind mit dem einen, der Oberfläche zugekehrten Schenkel etwa senkrecht zur Oberfläche angeordnet, während sich der andere  
 50 Schenkel etwa parallel zur Oberfläche in Strömungsrichtung erstreckt. Dies ist jedenfalls bei anliegender Strömung und hoher Schubspannung der Fall, bei der die Elemente gleichsam eingeklappt sind und keinen zusätzlichen Reibungswiderstand verursachen.

Der sich etwa senkrecht zur Oberfläche erstreckende  
 55 eine Schenkel der Elemente weist eine quer zur Strömungsrichtung sich erstreckende Flächenausbildung auf, die einer entgegengesetzt zur Strömungsrichtung gerichteten Sekundärströmung Widerstand bietet. Durch den Angriff dieser Sekundärströmung an den entsprechenden Flächenelementen des einen Schenkels der Elemente richten sich die Elemente bei niedriger  
 60 Schubspannung und fast abgelöster Strömung auf. Diese Aufrichtung ist nur möglich, wenn die Strömungsbedingungen nahe der Strömungsablösung vorhanden sind, wenn also die Schubspannung klein ist und wenn ein ansteigender Druck in Strömungsrichtung auftritt. Ein solcher Verstellmechanismus führt zu einer Gleich-

gewichtseinstellung der Elemente, entsprechend den Schubspannungen und den Drücken, die beide etwa proportional der Strömungsgeschwindigkeit sind. Das bedeutet, daß die Einstellung der Elemente unabhängig von der Strömungsgeschwindigkeit ist und nur davon beeinflusst wird, ob die Strömung in der Nähe der Ablösung ist oder nicht. Bei sicher anliegender Strömung mit hoher Wandschubspannung sind die Elemente eingeklappt und stellen praktisch eine sich parallel zur Oberfläche des umströmten Körpers erstreckende glatte Oberfläche dar, die nur einen kleinen Reibungswiderstand erzeugt.

Der sich etwa in Strömungsrichtung erstreckende andere Schenkel der Elemente kann in Strömungsrichtung spitz zulaufend ausgebildet sein, um in der ausgeklappten Stellung die angestrebte Durchmischung in der Grenzschicht herbeizuführen.

Auf der der Strömung ausgesetzten Oberfläche des anderen Schenkels der Elemente können in Strömungsrichtung verlaufende, widerstandsvermindernde Längsrillen mit scharfen Graten zusätzlich vorgesehen sein. Dies dient zur Verminderung des Reibungswiderstandes bei turbulenter Strömung in eingeklapptem Zustand der Elemente. Die Größe der Elemente ist an sich nicht festgelegt. Eine Wirksamkeit ist auch dann noch gegeben, wenn sie sehr klein sind und ihre Dimensionen in der Nähe der Dicke der viskosen Unterschicht liegen. In diesem Fall ist auch eine Wechselwirkung mit den ohnehin vorhandenen Längswirbeln in der viskosen Unterschicht möglich. Die Merkmale der Ansprüche 1 bis 7 sind auf eine passive Oberfläche gerichtet.

Wenn sich die Elemente bei anliegender Strömung nicht stark aufrichten, so ist hier noch eine andere Wechselwirkung möglich, die — ähnlich wie die Anordnung der feinen Längsrillen mit scharfen Graten — zur Verminderung der Schubspannung bei anliegender Strömung führt:

In der Oberfläche zwischen den Elementen können Schlitzte zum Ausbringen von widerstandsvermindernden Polymer-Additiven unter die Elemente vorgesehen sein. Durch diese Schlitzte zwischen den Elementen kann Fluid in einem momentan und lokal auftretenden Bereich niedrigen Druckes eingeblasen werden, und zwar aus dem Raum unter der Oberfläche. Dadurch kann die in diesen Bereichen auftretende, besonders langsame Strömung beschleunigt werden. Dies führt zu einer Stabilisierung der Strömung und dies wiederum zu einer Verminderung des Reibungswiderstandes. Die Beweglichkeit der kleinen, verstellbaren Elemente verstärkt diesen Effekt. Überschlagsrechnungen haben ergeben, daß die erzielbare Wirkung insbesondere bei Umströmung von Körpern mit Flüssigkeit möglich ist. Auch die langsameren, großräumigen Schwankungen in turbulenten Grenzschichten führen zu Sekundärströmungen unter der Oberfläche und zu Verstellungen der Elemente. Wenn Fluid durch die Schlitzte zwischen den Elementen ausgeblasen wird, so wird es immer in Strömungsrichtung ausgeblasen und vorzugsweise an solchen Stellen, wo momentan Druck und Geschwindigkeit an der Oberfläche klein sind. Dies führt allein für sich schon zu einem Strömungsprofil, das die Strömung länger anliegend hält.

Bei Verwendung der neuen Oberfläche des umströmten Körpers in Flüssigkeiten ergibt sich außerdem noch die Möglichkeit, an sich bekannte widerstandsvermindernde Polymer-Additive in den Hohlraum unter den Elementen einzuspeisen. Durch die sich zwischen den Elementen ergebenden Durchbrechungen können diese

Polymer-Additive dann austreten und zu einer weiteren Widerstandsverminderung führen.

Die Erfindung wird anhand einiger Ausführungsbeispiele weiter erläutert und beschrieben. Es zeigen:

Fig. 1 eine Oberfläche mit fest angeordneten, flügelartigen Elementen (Stand der Technik),

Fig. 2 eine Oberfläche mit fest angeordneten, keilförmigen Elementen (Stand der Technik),

Fig. 3 eine Oberfläche mit der Darstellung eines einzelnen, federnd nachgiebig ausgebildeten Elements,

Fig. 4 eine Schnittdarstellung durch die Oberfläche mit einer Vielzahl von verstellbaren Elementen gemäß Fig. 3 bei anliegender Strömung und hoher Schubspannung,

Fig. 5 eine Schnittdarstellung der Oberfläche gemäß Fig. 4, jedoch bei niedriger Schubspannung und fast abgelöster Strömung,

Fig. 6 die Darstellung einer Oberfläche mit einem einzelnen, gelenkig gelagerten Element und

Fig. 7 eine Querschnittdarstellung der Oberfläche mit einer Vielzahl von Elementen gemäß Fig. 6 bei niedriger Schubspannung und fast abgelöster Strömung.

In Fig. 1 ist in perspektivischer Darstellung ein Stück einer Oberfläche 1 eines umströmten Körpers dargestellt, der auf seiner der Strömung ausgesetzten Seite der Oberfläche 1 Elemente 2 aufweist, die fest und damit unbeweglich angeordnet sind. Die Elemente 2 sind flügelähnlich ausgebildet und schräg zur Strömungsrichtung 3 geneigt angeordnet, so daß sie in einer Grenzschicht Längswirbel 4 hervorrufen, die infolge der jeweils entgegengesetzt schräg durchgeführten Anordnung auch entgegengesetzt drehen, wie durch die Richtungspfeile 5 angedeutet ist.

Fig. 2 zeigt eine grundsätzlich ähnliche Ausbildung und Anordnung, also ebenfalls mit festen Elementen 2, die hier keilförmige Gestalt besitzen und in Strömungsrichtung 3 ausgerichtet angeordnet sind, so daß auch hier bei der Überströmung Längswirbel 4 entsprechend den Richtungspfeilen 5 entstehen.

Oberflächen 1 mit fest angeordneten Elementen 2 gemäß den Fig. 1 und 2 gehören zum Stand der Technik.

Fig. 3 zeigt die Einzeldarstellung eines Ausschnitts aus der neuen Oberfläche 1 mit der Darstellung eines einzelnen Elementes 2, welches jedoch federnd nachgiebig ausgebildet ist. Auch die Gestalt des Elements 2 ist neu. Das Element 2 weist einen ersten Schenkel 6 und einen anderen Schenkel 7 auf, die in einem Winkel von annähernd 90° miteinander so verbunden sind, daß sich etwa ein L-förmiger Querschnitt ergibt. Dabei ist der der Oberfläche 1 zugekehrte Schenkel 6 etwa senkrecht oder nur leicht geneigt zu der Oberfläche 1 angeordnet, während der andere Schenkel 7 sich im Abstand etwa parallel zu der Ebene der Oberfläche 1 befindet. Der Schenkel 7 läuft in Strömungsrichtung 3 spitz zu bzw. aus. In durchgezogener Linienführung ist die Stellung dargestellt, die sich aufgrund anliegender Strömung und hoher Schubspannung ergibt. Hierbei wird das Element 2 im Bereich des Schenkels 6 federnd nachgiebig gekrümmt bzw. gebogen, so daß sich der andere Schenkel 7 in eine Relativlage etwa parallel zu der Ebene der Oberfläche 1 ergibt. Bei einem Abfall der Schubspannung, wie es typisch für eine fast abgelöste Strömung ist, richtet sich das Element 2 mehr oder weniger in seine rückfederungsfreie Normalstellung auf, die in gestrichelter Linienführung angedeutet ist. Dabei wird von der Spitze des Schenkels 7 ein Federweg 8 zurückgelegt. Während sich der Schenkel 6 auch in dieser Stellung mehr oder weniger senkrecht zu der Oberfläche 1 er-

streckt, liegt der andere Schenkel 7 nunmehr nicht mehr parallel zu der Ebene der Oberfläche 1, sondern steht in Strömungsrichtung vor, so daß hier eine raue zweite Oberfläche geschaffen wird, die gleichsam als Sekundär-  
 5 Oberfläche bezeichnet werden könnte. Diese raue Oberfläche trägt zu einer erhöhten Durchmischung im Grenzschichtbereich bei. Das Element 2 kann aus dünnem, blattfederartigem Material ausgebildet sein, damit eine reproduzierbare Rückstellung je nach den Strömungsbedingungen eintritt und eine insoweit aufwendigere Verstelleinrichtung mit Fremdkraft vermieden  
 10 wird. Es versteht sich, daß auf einer Oberfläche 1 nicht nur ein einziges Element 2, sondern eine Vielzahl bzw. zumindest eine Mehrzahl davon, vorgesehen sind, wie dies anhand der Schnittdarstellung der Fig. 4 und 5 erkennbar wird. Bei hoher Schubspannung (Fig. 4) werden die Elemente 2 durch die auf sie einwirkenden Kräfte entgegen ihrer Rückstellfederungskraft so verbogen,  
 15 daß sich die anderen Schenkel 7 aufeinanderlegen bzw. aneinander abstützen, so daß durch sie gleichsam die Ebene der Oberfläche 1 im Abstand noch einmal nachgebildet wird. Es handelt sich jedoch um eine vergleichsweise glatte Ebene, so daß diese einen entsprechend niedrigen Widerstand erzeugt. Bei niedriger Schubspannung und fast abgelöster Strömung hingegen ergibt sich  
 20 die aus Fig. 5 ersichtliche Relativlage. Die auf die Elemente 2 einwirkenden Kräfte werden geringer, so daß sich das Rückstellvermögen des federnden Werkstoffes so bemerkbar macht, daß die einzelnen Elemente 2 aufgerichtet werden. Hierdurch gelangen die Schenkel 7 in  
 25 eine schuppenartige Relativlage zueinander, was eine raue Oberfläche mit entsprechender Durchmischung in der Grenzschicht bedeutet. Die Elemente 2 sind gleichgerichtet angeordnet und, wie aus den Zeichnungen ersichtlich, in Strömungsrichtung 3 ausgerichtet  
 30 vorgesehen.

Anhand der Fig. 6 und 7 ist eine weitere Ausführungsmöglichkeit der Elemente 2 dargestellt. Jedes Element 2 besitzt zwar auch hier einen ersten Schenkel 6 und einen  
 35 zweiten Schenkel 7, ist jedoch mit Hilfe des Gelenks 9 an der Oberfläche 1 bzw. in der Oberfläche gelagert, so daß auch hier — freilich anders — eine Verstellung des Elements 2 durch die einwirkenden Kräfte stattfindet. In Fig. 6 ist in durchgezogener Linienführung die Relativlage bei hoher Schubspannung und in gestrichelter  
 40 Linienführung bei niedriger Schubspannung verdeutlicht. Beide Relativlagen unterscheiden sich um den Verstellweg 10.

Es versteht sich, daß hier nur zwei Relativlagen dargestellt sind. Entsprechend den Strömungsbedingungen ergibt sich eine kontinuierliche bzw. stufenlose Verstellung je nach den herrschenden Strömungsbedingungen.

Fig. 7 verdeutlicht die Stellung einer Mehrzahl von Elementen 2 gemäß Fig. 6 bei niedriger Schubspannung und fast abgelöster Strömung. Typisch für diesen Strömungszustand ist ein Druckanstieg entgegengesetzt zur Strömungsrichtung 3, der wiederum Ursache für eine  
 45 Sekundärströmung gemäß den Pfeilen 11 ist. Diese Sekundärströmung gemäß den Pfeilen 11 wirkt auf nicht weiter verdeutlichte Flächenelemente an den Schenkeln 6 ein, die zu diesem Zweck lange, flache Schäfte aufweisen können. Diese Schäfte besitzen einen Widerstand in der Sekundärströmung gemäß den Pfeilen 11, so daß auf diese Weise die Verstellung der Elemente 2 um die Gelenke 9 erfolgt. Bei kleiner Schubspannung und ansteigendem Druckverlauf in Strömungsrichtung 3 führt dieser  
 50 Verstellmechanismus zu der Einstellung eines Gleichgewichtszustands der Kräfte an den Elementen 2,

herrührend von Schubspannungen und Drücken, die beide etwa proportional der Strömungsgeschwindigkeit sind. Dies bedeutet, daß die Elemente 2 unabhängig von der Strömungsgeschwindigkeit eingestellt werden.

5 In Fig. 5 ist dargestellt, daß die Oberfläche 1 in jedem Fall auch mit Schlitzen 12 versehen sein kann, durch die ein Fluid zusätzlich ausgeblasen werden kann. Das Ausblasen erfolgt immer etwa in Strömungsrichtung 3. Durch die Schlitze 12 kann aber auch ein Polymer-Additiv  
 10 ausgebracht werden, welches zu einer weiteren Widerstandsverminderung beiträgt.

Die konstruktive Ausbildung der variabel einstellbaren Elemente 2 kann in verschiedener Weise erfolgen, da die Größe der Elemente 2 nicht von vornherein fest-  
 15 liegt. Die Elemente 2 können aus Blech oder Kunststoff gefertigt werden und auch aus Einzelteilen zusammengefügt werden, sofern die Elemente 2 in der Zentimeter-Größenordnung vorgesehen sind. Bei sehr kleinen Strukturen aus den Elementen 2 in der Millimeter-Größenordnung und darunter können Herstellungstechniken zum Einsatz kommen, wie sie beim Weben von  
 20 Samt, Webpelzen o. dgl. bekannt sind. In allen Fällen sind die Elemente 2 flach ausgebildet, einheitlich orientiert und laufen hinten möglichst spitz zu.

#### Bezugszeichenliste:

- 1 = Oberfläche
- 2 = Elemente
- 3 = Strömungsrichtung
- 4 = Längswirbel
- 5 = Richtungspfeile
- 6 = Schenkel
- 7 = Schenkel
- 8 = Federweg
- 9 = Gelenk
- 10 = Verstellweg
- 11 = Pfeil
- 12 = Schlitz

1/5

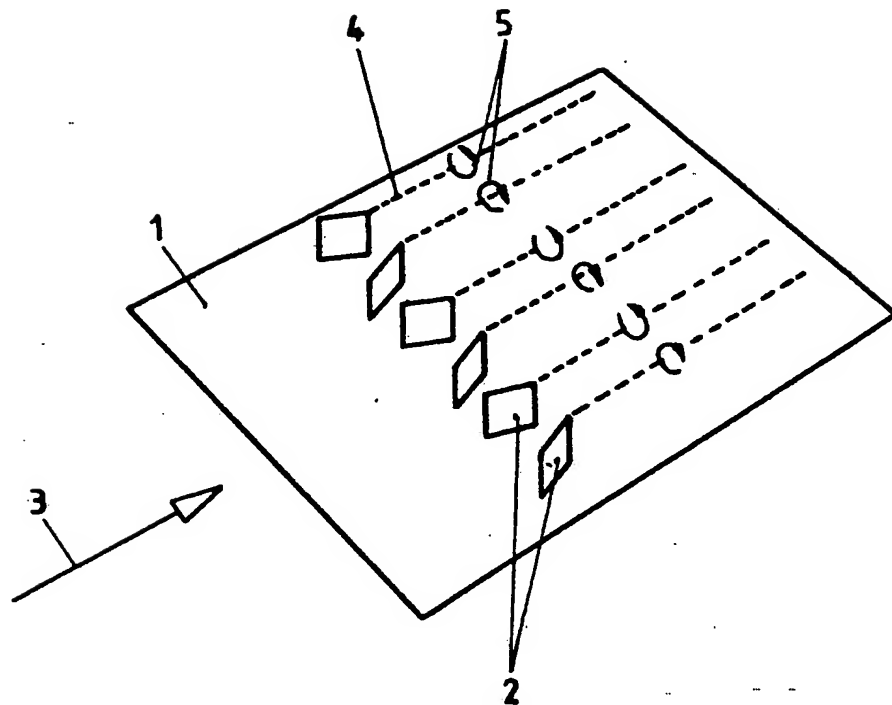


Fig. 1

2/5

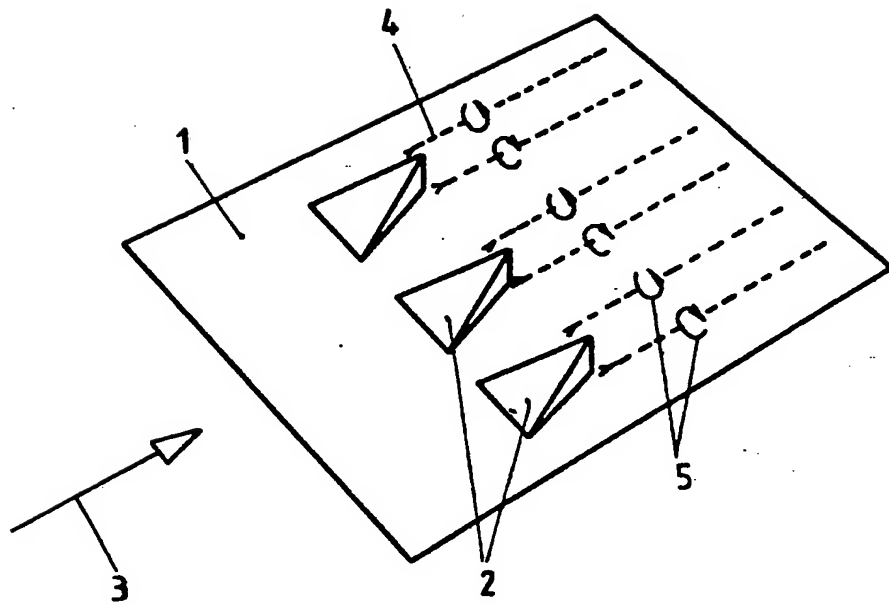


Fig. 2

3/5

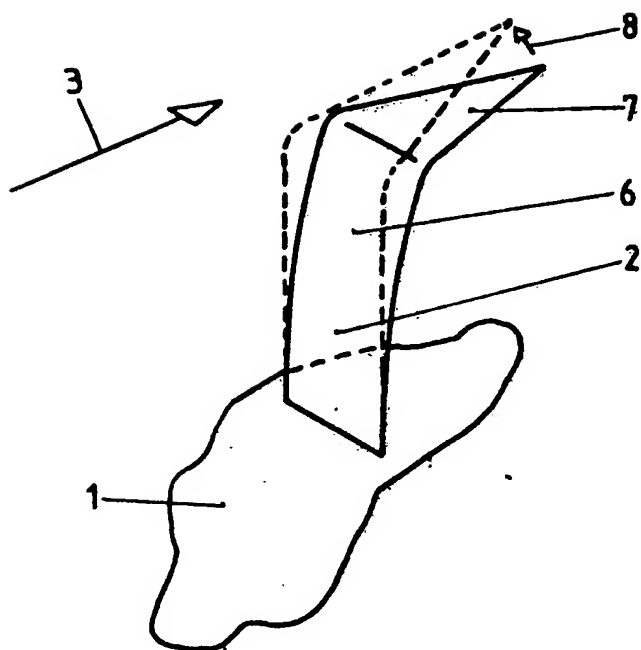


Fig. 3

ORIGINAL INSPECTED



4/5

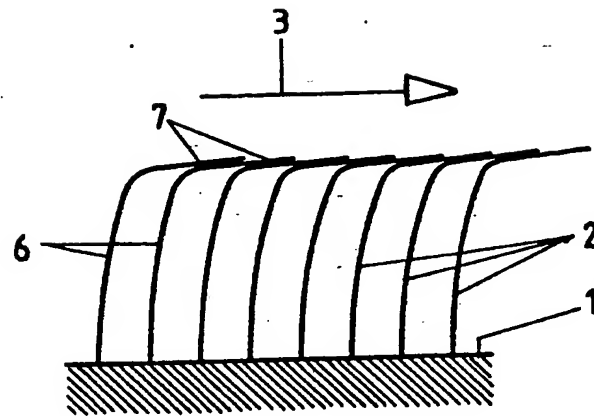


Fig. 4

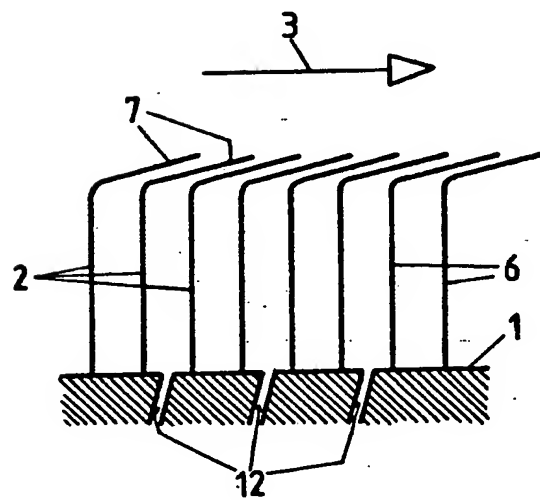


Fig. 5

